技術と工学のはざまで

中 桐　滋

インタビュアー：岸本喜久雄

2011年10月31日
アルカディア市ヶ谷

― 目　次 ―

技術と工学のはざまで

GUEST

中 桐　滋（なかぎり　しげる）

1940 年 1 月　誕　生
1958 年 3 月　麻布学園高等学校　卒業
1958 年 4 月　東京大学　入学
1962 年 3 月　東京大学工学部機械工学科　卒業、工学士
1962 年 4 月　東京大学大学院数物系研究科
　　　　　　機械工学専門課程　修士課程　入学
1964 年 3 月　同上課程　修了、工学修士
1964 年 4 月　東京大学大学院工学系研究科
　　　　　　機械工学専門課程　博士課程　進学
1967 年 3 月　同上課程　修了、工学博士
1967 年 4 月　東京大学助教授
1976 年 4 月～9 月　東京都立大学工学部非常勤講師、併任
1982 年 9 月～1992 年 3 月　東京大学工学部講師、併任
1983 年 6 月～2000 年 3 月　東京大学教授
1991 年 4 月～9 月　名古屋大学工学部講師、併任
1999 年 4 月～2000 年 3 月　横浜国立大学工学部教授、併任
2000 年 4 月～2005 年 3 月　横浜国立大学大学院教授
2000 年 5 月　東京大学名誉教授
2006 年 4 月～2009 年 4 月　原子力安全委員会委員

INTERVIEWER

岸本　喜久雄（きしもと　きくお）
東京工業大学大学院　教授

（所属は、インタビュー実施時のものです）

ゲスト 中桐 滋 ／インタビュアー 岸本 喜久雄
2011年10月31日（月） 於 アルカディア市ヶ谷

＜在外研究員＞
1980年9月～1981年7月　文部省長期在外研究員、University of New South Wales
1994年6月～7月　文部省短期在外研究員、Chalmers Tekniska Hoegskola

＜理事職＞
1981年6月～1983年5月　社団法人日本塑性加工学会 理事
1992年6月～1996年5月　社団法人自動車技術会 国際担当理事
1996年5月～1998年5月　社団法人自動車技術会 技術担当理事
1997年6月～2003年5月　社団法人日本高圧力技術協会 理事

＜賞 罰＞
1983年4月　昭和57年度日本機械学会賞（論文賞）、
確率有限要素法の開発に関する研究
1986年3月　日本塑性加工学会 功績賞、
多年にわたる学会活動に関する寄与
1990年3月　チェコスロヴァキア科学アカデミー、
チェコスロヴァキア力学会 貢献賞（Honorable Medal）
不確定構造解析手法の開発に関する研究
1998年2月　平成9年度ガス保安功労者通商産業大臣表彰、
ガス事業の保安に対する貢献
1999年11月　第19回原子力安全功労者科学技術庁長官表彰、
原子力施設の保安に対する貢献
2003年10月　平成15年度保安功労者高圧ガス保安協会会長表彰、
高圧ガス設備の保安に関する貢献
2004年7月　平成16年度安全功労者内閣総理大臣表彰

岸本　おはようございます。自動車技術会では、我が国の自動車産業の発展に貢献されてこられた方々に対して、名誉会員の方々を中心にインタビューを行い、それらを記録に残す事業を行っております。本日は、長年にわたって自動車技術のみならず計算工学の研究・教育の発展に貢献されてこられました中桐滋名誉会員に、教育研究に関することを中心に、研究の将来や学生の教育のあり方などについてお話をお聞きしたいと思います。本日のインタビューの内容は、「自動車技術を築いたリーディング・エンジニア」としてホームページに掲載されます。この事業は、先生が初代分科会長を務められました自動車技術史委員会故実蒐集分科会で行った故実聞き取り調査が契機になったと伺っております。まず、このあたりのことについてお聞かせいただけませんでしょうか、よろしくお願いします。

□　自動車技術会とのかかわり

中桐　その委員会は、自動車技術会が大きな枠組みの中で行っていた中で具体化されたものです。大きな枠組みといいますのは、日本の自動車の過去、現在を通観する博物館が必要ではないかという意見が委員会の中にございました。博物館をつくろうということでありますが、これはやはり競合する博物館等もあり、それから博物館というのは膨大な資金を要する話になります。それで、博物館という話ではなく、どういうものが重要なメルクマール、遺産として重要なものであるか、それをピックアップして、たとえ1カ所に集められていなくてもこういうものがありますよということをリストアップしようということで、この分科会の活動が始まりました。ですから、その名前も「故実」、これがまあ何と平家物語か源氏物語かと、そんな名前でありまして、また「蒐集」、これまた難しい字になりました。

岸本　なかなか難しい分科会名称ですが、具体的な活動を簡単にご紹介下さい。

中桐　故実のものであればいいということで、それで分科会をつくって、各社からいろいろどういうものがあるかということを、物としての蒐集を行いました。もう一方では、人の話題であります。これはやはり日本の自動車技術を支えた技術者の方々のいろいろな事績、経歴、そういうものをきちんと記録にとどめようということで、物を集めてこれが故実ですよという話と、それから今までの諸先輩、諸先達のお話を伺うという話になりました。2000 年度までに 2,234 件の蒐集を行いましたが、記録によれば、そのうち 180 件を選定して、「日本の自動車技術 180 選」として自動車技術会のホームページで公開しました。その後、2007 年度に新に 148 件の新規蒐集を行い、その中から 60 件を加えて、現在は「日本の自動車技術 240 選」として公開されています。そういう状況にあります。

岸本　インタビューによる記録保存事業の背景を理解することができました。どうもありがとうございます。それでは次の話題に移らせていただきます。先生は、東大生産技術研究所に 33 年、その後横浜国立大学環境情報研究院に 5 年、原子力安全委員会に 3 年と

いう形で、研究、教育にご尽力されてきましたが、自動車技術会では、先ほどの故実蒐集分科会のほか、JSAE レビュー編集委員会や論文集編集委員会等の役職を歴任されてきたと伺っております。特に JSAE レビューのことについて、お話をお聞かせいただければと思います。

中桐　私の専門は構造力学ですが、1970 年代頃は、自動車技術との直接的な関係は薄かったような気がします。それは、自動車第一世代と言われている平尾収先生が「日本の自動車は、君、エンジンの周りに鉄板があるのだよ」とおっしゃられ、「鉄板力学なんていうのは目じゃない」みたいなことを言われて、私としては構造力学の専門でしたので、くしゅんとしていたわけです。当時、自動車技術会では会誌のほかに論文集を出しており、私は論文集編集委員会の委員長として名を連ねておりました。そうこうするうちに――苦労話というのは、始めると止まらなくなるという癖があるわけですが――あれはたしか 1970 年代初めの頃だったかと思いますが、当時は日本が上向きで、アメリカが下向きでという時代でした。そのような状況の中で、アメリカの SAE か SAE に属している個人なのかは分かりませんが、情報源に対するアクセスの非対称性というのは非関税障壁だといって、アメリカ側から強い改善の要望がありました。これは電子工学のほうでも同様の動きがあったと思いますが。

岸本　日本側の情報が出てこないということですね。

中桐　彼らは英語で書いてないと駄目だと言うわけです。それで、「JSAE Review」という英文誌をつくろうという機運になりました。しかし、日本の企業各社は、英語の論文であろうがドイツ語の論文であろうが、必要な文献は取り寄せて翻訳しています。

岸本　そうですね。

中桐　ですから、アメリカの言う情報源に対するアクセスの非対称性と、「JSAE Review」という英文誌の発刊は直接的な関係はないのですが、表向きは、確かにそれはおかしいということになりました。それから、学生のアルバイト的な翻訳で日本の技術が伝播していることに疑問を呈する意見もありました。英文誌を発刊すれば、せめて米国の大学図書館が 1 冊ずつぐらいは購入してくれるのではないかということで発刊することになりました。初めは、年 2,000 部程度発刊していたかと思います。しかし、何でも理想を言うのは簡単なのですが、現実には資金の問題がありまして、年３回という変則的な発刊回数でした。イヤーブックでもないし、年に２回でもないし、クオータリーでもないし、年３回というのはちょ

JSAE Review 創刊号

っと変則でありまして、なかなか大変な一面がありました。私がレビューの編集委員会に参加させていただいて強く印象に残りましたのは、初代の編集委員長であった上智大学の五味務先生でした。それから、トヨタ自動車の羽鳥鷹兵さんが副委員長でした。費用の問題、出版の問題、文化の問題、いつもいろいろな問題があって、お二人がご苦労されていたというのが非常に印象に残っております。事務局も含めて、いろいろな苦労がありましたが、私としては、最近の自動車技術会の春、秋の大会を見ますと、英語セッションがあるとか、外国の方の講演も多いとか、国際化が進んできたことは確かなことであり、現在の自動車技術の国際化ということに少しは貢献できたのではないかと思います。今度、五味先生や羽鳥さんにお会いする機会がありましたら、「昔は苦労しましたが、それが現在の国際化の進展に結びついていますね」と、申し上げようと思っています。これが「JSAE Review」の編集に携わって、私が得た喜びでありました。それと、論文集の編集委員会もありました。編集の仕事というのは定期刊行が責務になりますが、定期刊行の場合は、予算の進捗率から――自動車技術会は常に予算の進捗率を言うところで、ここがまたいいところなのですが――原稿の入っている状況、校正の進捗状況など、ルーチン化しやすいわけです。したがって、ともすれば化石化しやすいのでありますが、自動車技術会の論文集はそうはなりませんでした。それは、編集委員の構成がうまくいっていたからだと思います。企業所属の編集委員がかなり多いので、最新の知識とか動向に触れることができました。当時、私は30代後半の駆け出しでしたが、自動車技術、自動車産業に関する視野を広げることができ、参加できたことに大変感謝しています。大学の先生方は、狭い学内に閉じこもりがちになりますが、視野を広げる絶好の機会だと思います。これからの若い先生方も、編集に関する作業は、ある意味ルーチン的な作業の積み重ねのような部分がありますが、そのルーチンの中にはきちんとダイヤモンドが埋まっているのだと思って活躍されていくことを期待しています。

論文集編集委員会会合でのスナップ写真（1970年代末頃）
（左から、福地靖氏、佐藤武氏、小林敏雄氏、中桐滋氏、酒井靖郎氏）

□　大学院修了の前後

岸本　ありがとうございます。それでは、少し昔話に戻るというか、若い頃の話をお聞きします。確か、先生は 1960 年代に大学院を修了されたと記憶していますが。

中桐　1967 年の博士課程修了です。

岸本　そうしますと、ちょうど学生運動が華やかな頃だったと思いますが、その頃の状況をお聞かせ下さい。

中桐　それでは昔話をさせていただきます。1963 年頃は箱型梁の振り座屈の実験をしていました。ドクターの３年間では、矩形平板のせん断座屈後の挙動というものを、実験と解析と両方やっていました。私の大学院での５年間は、はっきり言うと課題が古典的、古色蒼然でありました。悪く言えばでき上がった分野のものだったわけですね。それから使っていた手法が、これまた専門用語を使って煙幕を張りますと、重調和方程式を二重フーリエ級数展開で解くというものであり、手法も月並みで世の中に大した貢献ができなかったようなものです。ですから成果は乏しかったのですが、1967 年にはやっと成果を出しました。乏しいと言っても無かったわけじゃありません。

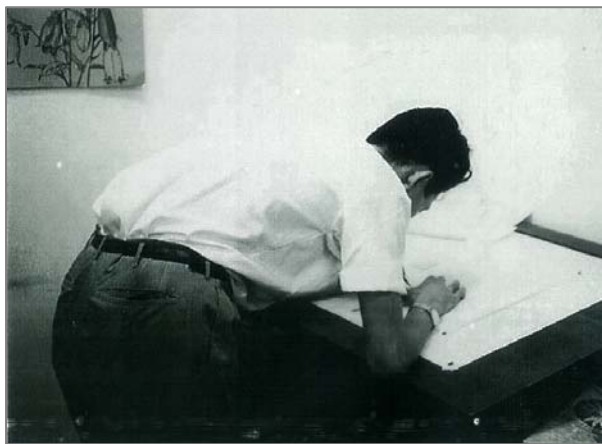
岸本　いや、当然だと思います。

中桐　それできちんと、あの怖い怖い山本善之先生が審査員に入っていた審査を通りまして、1967 年に工学博士をとりました。その時は、まだ大学紛争はありませんでした。大学紛争は、博士課程修了後でした。修士時代、実験は、夏は暑いし、冬は寒いし、電線は重いし、もう汚れるし、というので忍耐力だけはつきました。あれはよかったことだと思っています。

岸本　実験の際のひずみゲージも、先生ご自身で張られたのですか。

中桐　張りました。しかもあの当時は、お金のことを言って恐縮ですけれど、ロゼット型の３軸ストレン・ゲージが１枚 500 円もしました。

岸本　その当時からすると随分高い金額ですね。

箱型梁のせん断座屈実験中の中桐氏（寒い）

薄板せん断試験機の
図面引き中の中桐氏（暑い）

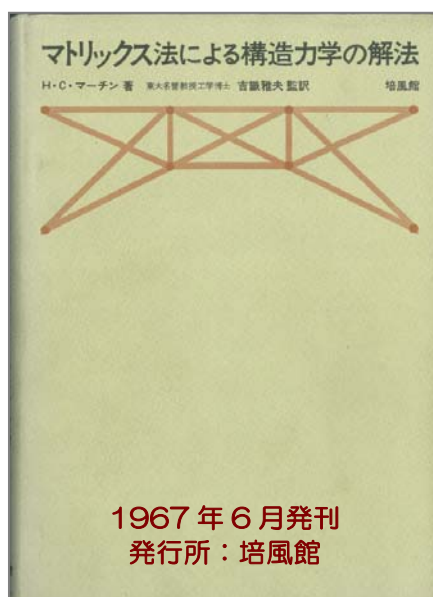
中桐　たしかあのときの学費が年間 12,000 円だったと思います。ですから、主応力の方向を出そうと思って、指導教官に「うーん」としかめっ面で買っていただいたゲージが、絶縁抵抗がなくて駄目だ、お釈迦だというともう……、まあ、いろいろ苦労しました。泣きの涙ということもありました。ただ、そういう実験や解析をやっている一方で、機械の岡村弘之先生、この方は同じ研究室におられた方ですが、「平面を三角形に切って計算する方法があるらしいよ、そういうのをやってみなさい」と言われました。航空の鷲津久一郎先生が始めた輪講会がありましたので参加しましたが、ここでは、ハロルド・マーチン先生の――あれが日本で最初に翻訳されたマトリックス法の本だと思いますが――「マトリックス法による構造力学の解法」で輪講しました。１年間輪講していたものですから、それが翻訳になって出版されました。そういうことで、初版が出たのは 1967 年でした。その頃になりますと、いよいよ大学の中が何となく怪しくなりました。あのときは、どうしてこういうところでこういう話になるのだと、訳がわからないところでも紛争が起こってしまうという状況でした。「大学紛争」と言うか、「東大闘争」と言うか、この表現の別で立場が分かるそうです。

岸本　ああ、東大闘争ですね。

中桐　「大学紛争」と言う人は、教官側にいた奴らであると彼らは言うわけです。「東大闘争」と言う人はバリケードの中にいた人で、「東大紛争」と言う人はノンポリだとかいう説がいろいろありました。一方では、それまでのずっと沈滞していた時代を打ち破る、何かの息吹があったのだと思います。

岸本　はい、そうですね。

1967 年６月発刊
発行所：培風館

研究室の八ヶ岳登山（1968 年 10 月）
（２列目が中桐氏）

中桐　だから、それはお互いに裨益するところがあったのだと思います。安田講堂前のあの火炎瓶のときは、警察もピケットラインを設けていました。私の勤め先は、六本木にありましたが、本郷の状況を見てこいというようなことを言われました。そうなると、若い人が物見に行くことになるわけです。

岸本　偵察に行ってこいと言われるわけですね。

中桐　それで、お互いにいろいろな経験をしました。そういう中で、自分のドクターワークを、doctoral thesis を考えてみると、あれは課題が古い、それから手法も月並みであるという思いを持っていました。当時、ちょうどオランダのコイターという人が、分岐座屈の素晴らしい理論を出しました。

岸本　コイターの安定性理論ですね。

中桐　あれもドクター論文だそうです。

岸本　そうですか、ドクター論文ですか。

□　有限要素法との格闘

中桐　コイターの大論文と比べると、私はこんなに小さいのだということで、これをずっと続けていたら駄目だと思って、ちょうど輪講会でやっていた有限要素法に頭を切り換えました。それはそれでよかったのですが、何せそれまでの微分方程式で物を考えるというところから、有限要素法の連立一次方程式で考えることに変りました。それから、紙の上でやるというのではなく、プログラミングでやることになりました。このプログラミングが、どうも私の頭になじまなくて、うまくいかないのです。それでも、半年なり 1 年掛けて何か研究らしきものをやって発表したのですが、アメリカでは、だだだだっと素晴らしい論文がいっぱい発表されていました。そのときは何か劣等感にさいなまれるといいますか、何かいつも他人様の後塵を拝しておりまして、苦しい思いの連続であったというのが 1970 年代の前半でした。言いわけをすれば、大学紛争が背後にあるものだから、あまり身が入らなかったとも言えるのですが、それは言いわけに過ぎません。ですから、1970 年代は、有限要素法の応力法、混合法、変位法など、いろいろな手法が百花繚乱の如く出ていましたので、勉強はしましたが、研究

国際圧力容器工学会議（ICPVT）で
発表を行う中桐氏

としてどうだったかというと、苦い思い出があるということです。その分野で唯一、「これは新しいことですよ」と言えるのは、自動車の衝突とかで使われる衝撃の問題のときに、波動の伝播問題がありますが、この場合に構成方程式はひずみ速度に依存します。平たく言うと、ひずみ速度、ひずみの変化する速度が大きいと、降伏応力が上がるという現象です。材料がそういう現象を示すときに、応力波の解析をどうすればいいのか、これが、それまでの方法はおかしかったと思います。それはなぜかというと、有限要素法は何かというと、空間の場を支配する方程式を積分した、その結果が連立一次方程式だから——こういう文章を読まれる読者はちょっと困るかも知れませんけれど。ちょっと難解ですが、ご忍耐いただきたいと思います。空間の積分をする。それから波動方程式では時間の積分をする。ひずみ速度依存性構成方程式の時間積分と空間積分を同時にするとき、時間増分をどう決めれば安定して計算が進むのかという、その安定性の解析でした。これは、唯一の成果だろうと思っています。

岸本　私は、1975 年に学部を卒業しましたが、その頃は破壊力学がだんだん盛んになってきていて、それを勉強し、そこで有限要素法を使いたいと思いました。特に衝撃問題でしたので、鷲津先生の本を読み、先生の波動伝播解析、時間積分のことなどを勉強させていただきました。その時期のことを懐かしく思い出しました。いろいろな研究会で先生が発表されているのを、すごく新しい研究をされているなと思いながらお聞きした記憶があります。

中桐　記憶に残っていてありがたいのですが、先ほど私が、応力波の伝播解析はおかしいと言いましたのは、ひずみ速度依存性の構成方程式で、粘弾性学で使われているフォークトモデルというのがあります。マクスウェルモデルとフォークトモデルがありますが、マクスウェルモデルの方は、バネとダッシュポットが直列に入っているので、波の伝播速度が有限です。ところがフォークトモデルの方は、バネとダッシュポットが並列に入っているものですから。

岸本　そうですね、並列に入っていますね。

中桐　ですからずるずるっといつまでも伸びるものですから、波動伝播速度が定義されない。したがって無限大になってしまう。そうすると、そういう現象をどうやって安定的に解析するかということが分からなかった。どうするかというと、小さなバネをフォークトモデルの先に付けて、バネ定数を小さくしていったところの極限がそうであろうとしていました。それはおかしいというので、いろいろ考えて安定性解析をしました。覚えておいていただいてありがとうございます。

岸本　いいえ、非常に印象に残ったお話でした。

中桐　それから、やはり 1970 年代のことですが、その頃に何を得たかといいますと、確かに私も勉強はしていました。最近の有限要素法はみんな変位法ですが、あれは一方の上界のほうであって、本来は下界も調べて、その間に正解があると思わなくてはいけな

い。それで、応力法というものと変位法、その間の混合法というのがありますが、この混合法の泰斗が MIT のピアン教授です。あの頃は、アメリカから大学の先生が来るというと、やはりきちんと握手してくるという感じで、勢い込みました。

混合法の泰斗、T.H.ピアン MIT 教授（右から４人目）を囲んで
中桐氏（右から２人目）

岸本　そうですよね。

中桐　ですから、ああいうときのささやかな努力というのがあって、写真を探すときにピアン先生の温顔を思い出しますと、ああ、やはり偉い先生だなあと思います。でもそれはともかくとして、勉強し過ぎると偉人や先達の偉業さに気圧されてしまいますね。

岸本　そうですね。

□　オートバイとの出会い

中桐　やはりすごいですよ。そうなりますと、自分の研究が進まない、止まってしまう。橋のたもとで立止まっていれば、それはやはり自滅ですね。アメリカのように publish or perish、論文の数がないと駄目だという世界でもないのですが、やはり研究は前に進まなければならない。そうすると、頭の中の理屈で考えていても、なかなか前に進まない。前に立派な人が既にいるじゃないか。それで、何か前に進むきっかけをつくるべきと思っていました。それまで、私は車を持っていませんでしたし、オートバイにも乗っていませんでした。あるとき、生産技術研究所の構内に 50cc のハスラーという小型のバイクを持ってきた人がいました。構内というのは道交法のらち外ですから。そうだ、僕は今……。

岸本　その頃は平和な時代でしたね。

中桐　平和な時代でした。免許証は自宅に置いていたのですが、構内ならばちょこっと乗ってもいいだろうと思って乗りましたら、これがまあ、レスポンスが速いというか何というか。50cc の小さなオートバイでしたが、非常におもしろかった。一度乗ったら、今

の言葉で言うと「はまった」ということです。それがなぜ研究と結びつくか。あんなものは危ないから乗らん方がいいと思っていました。ところが乗ってみると、確かにオートバイで死ぬときには畳の上では死ねないなと思いましたが、何せレスポンスは速いですし、それから生身で乗っていますから、ダンプの間にはさまれると、車輪が肩の位置ぐらいあるわけです。それが、がらがら動いていくと、これはすごい世の中だったわけです。そういう恐怖に耐えて都会を出る。それまで私はあまり旅行したことがないものですから、せいぜい飛行機や列車の窓から見る程度でした。すなわち、山のこちら側だけしか見ていなかった。だから、山の向こうというのはよくわからない。空の上から見ると、これまた、ああ、日本というのは山に沿って川が流れていて、ああいうところに村落があるのだなあと思っていましたが、それを詳しく見た覚えがない。オートバイのいいところは、いつでもバックできるので自由に行きたい所に行ける。

岸本　知らないところに入って行っても、いつでも戻ることができるということですか。

中桐　そうです。四輪車ですと、うかつに一本道に行って戻れなかったらどうするのだと思いますが、オートバイは戻れます。だから、“行方定めぬ波枕”ではありませんが、小径へでも入っていけるわけです。そうすると、それまで自分の見たこともない、考えたこともないいろいろな風景が目に入ってきます。「ああ、成程ねえ、オホーツク海の海風はかくも長く吹くのか」ということを実感できます。あそこはほんとうに長くて、ずーっと走って来ますと、体の片側ばかりが冷えるのを感じます。

岸本　北海道は50ccのバイクで行かれたのですか。

中桐　いや、50ccだったらお尻が痛くなりますから、行ったのは250ccです。最初は125ccで、次が250ccで、最後は400ccでした。

岸本　そうですね、先生、大きいバイクにお乗りになられましたね。

中桐　やはり250ccまでは、何が悪いかというと——こういう話をしゃべっていていいのかという気になりますが、自動車技術の一端ですからお許しいただいて——サドルが堅い。

岸本　サドルですか。

中桐　カフェレーサーでパリのカフェをオートバイで巡るぐらいですといいのですが、私は大体1回のツーリングで5日間ぐらいかけます。

岸本　随分長く行かれるのですね。

中桐　大体5日かけました。行程は4日で、1日余分をとるというタイプでした。そうしますと、体重をかけて走っていますから、1日目は手首が痛くなりました。2日目はお尻が痛くなります。もちろん手の痛みもとれません。3日目ぐらいになると、手もお尻も痛くなってしまいます。いくらサドルの上でお尻を動かしても全然痛みが止まらないので、400ccに乗りかえたときは、やはりいいサドルだなと思いました。基本的には1人で行くのですが、その頃はバイクの先生がいまして、東工大の宇治橋貞幸先生です。

岸本　宇治橋先生、存じ上げております。

中桐　今、足の力学というか、生体力学でご活躍ですが、バイクでは彼のほうが先輩でして、速いですね。私は、すぐ置いていかれてしまう。

ツーリング中の中桐氏（左）、宇治橋貞幸氏（右）

しばらく先行するときちんと待っていてくれるのですが。「宇治橋先生速いですね」と言うと、答えていわく、「いやあ僕は気持ちよく走りたいからです」と言います。私も結構風を切って、「風景は見えるし、いいなあと思っている」のですが。要するに彼が気持ちよく走るというのは、前に車がいないことです。

岸本　先頭を走りたいということですね。

中桐　先頭を走りたい。だからどんどん抜いていくけれど、私はもう抜くときでも普通に曲がります。モトレーサーは、倒れ込むほうにひざがつくような曲がり方、リーンインをしますが、私はそのような危ないことやりませんので、遅れてしまいます。オートバイに乗って良いことはと言うと、基本的にアドレナリンが増えることです。頭の中で、いざとなったら死ぬかもしれない、いざとなったら足の１本失くなるかもしれないと思って走っています。といいますのは、ツーリングで５日目ぐらいになりますと、やはり「思いどおりのコース取りではなかった、はっ」というのが１回ぐらいは出てきます。だから、事故を起こしたら、壁に激突とか、崖から落ちるとかですから大変でした。だけどアドレナリンが増える。そうするといろいろ研究上にもプラスになってくる。

岸本　発想が湧いてくる。

中桐　いろいろなアイデアがぞろぞろ出てくるようになりました。だから、これは大いにありがたいです。

□　オーストラリアでの在外研究

岸本　効用ですね。先生は、在外研究はオーストラリアでしたね。

中桐　はい。そうです。

岸本　そのときのお話で、空港から大学までオートバイで直ぐに行かれたというお話を、前に

伺ったような記憶があるのですが？

中桐　オーストラリアではオートバイに乗っていましたが、その話は誤解だと思います。私は、いろいろ誤解されている一面があります。最初に買ったのが 125cc の赤いオフロード車です。住まいが三浦半島の中でしたので、まず三浦半島を１周しました。三浦半島を１周すると大体 90km ありますが、そこで大体 3,000km ぐらい練習しました。ちょうどその頃はライフル射撃もやっていましたので、それがどう間違って伝えられたのか、「中桐はライフルを背中に背負ってオートバイで走っている」と言われました。何か、第 2 次大戦中のドイツの偵察兵のやることで、私のすることではないと思ったのですが、噂ではそういうことになるようです。なぜオーストラリアでオートバイに乗っていたかと言いますと、向こうは公共交通機関が少ないので、足となる車が必要となります。それで、すぐに買えるものをということでオートバイになりました。当時は、防疫のために飛行機を降りる前に頭の上から薬をかけられましたが、息が詰まるような感じでした。到着したのが朝ということもあり、空港を出たときは頭がはっきりしていませんでした。空港には、高校のクラスメートが迎えに来ており、バイクの受取り場所を教えられ、まず地図を買ってその日の午後に受取りに行きました。それが、空港から大学までオートバイで行ったことになったのかと思います。

岸本　やはり、人の話が伝わっていくと、尾ひれが付いていくものですね。

中桐　オーストラリアは移民の人が多いので、新しく来た者には非常に丁寧で優しいところがあります。オートバイを受取りに行きましたら、ディーラーの人がハイウエーパトロールの方に電話をして、その方のオフィスとホームの両方の電話番号を教えてくれて、「何かあったら彼に電話しろ」と言われました。こういうことまでしていただいて良いのかと驚いたことを覚えています。

岸本　それは驚きますね。

中桐　ありがたい国です。それは、私がニューサウスウェールズ大学のビジターだということがわかっていたからかもしれませんが、そういうことがあったので安心して走ることができました。これは文化として安心でき

オーストラリア渡航前夜祭（1980 年９月）前列中央が中桐氏

るのであって、生命として安心できるかどうかとは別の話です。国が異なると、文化もかなり異なります。例えば、長い道のりを１人で走っていて、小休止をするときにヘルメットを脱ぎますが、そうすると私は明らかに東洋人だとわかります。そういうときでも、当時は 1980 年でしたが、彼らは必ず手を振ります。これはオートバイ同士の決まりごとのようなものですが、それとは別に、おまえはどこから来たか、どこへ行くのか、水を持っているのかというのを聞くというのがマナーだったそうです。私がヘルメットを持ってぼけっと休んでいますと、「ぎゃぎゃぎゃぎゃっ」と何か言ってきます。オーストラリアの英語はよく聞き取れなくて、仕方がないから手を振っていると向こうも手を振って、グッドバイと言って去って行きます。そういうところは、非常に温かい国です。オーストラリアのアウトバックは通行台数が非常に少ない所で、事故を起こすと大変なのですが、１日に１台ぐらいは通るので、ここで転んで動けなくなっても、温かい人が多いので、拾っていってくれるだろうと思っていました。それから、オーストラリアでは、走っていて注意しなければいけない動物がいます。カンガルーは夜行性なので夜に出没します。温血動物ですから轢かれた場合は赤い血が出ます。道路は白いマカダム舗装ですから、カンガルーが轢かれている場合は遠くからでも分かります。怖いのはトカゲでして、胴回りが 20cm、長さが 30cm ぐらいあります。1 匹あれば 3 日間ぐらい食い繋げるのではないかと思うぐらい大きなトカゲです。これは体の色が白いので、轢かれてペシャンコになると遠くからは分からなくなります。そこを制限速度の 110 km で乗り上げると、二輪ですのでツルンと行ってしまいます。それから、注意深くなりました。

岸本　日本では経験できないことですね。

中桐　そういうこともありましたが、オーストラリアでは研究をしていました。オートバイに乗っていたお陰でいろいろな人の親切にも触れましたが、１度危ない目にもあいました。登り坂でしたので、何となくスピードも出ていましたが、大体上のほうになってくると、その坂が下り坂となって先が見えず、その向こうに上り坂がまた見える。あ

あ、直線で大丈夫だと思ったら、どうしてそういう道路を作ったのかわかりませんが、下り坂に入った途端にその先が湿地になっていました。坂を下がったところで、いきなり急カーブで半円を画き、また上り坂になっていました。少しずらしてくれれば問題ないのですが、何故かそんな形になっていました。結局、止まりきれずに湿地に突っ込んでしまったのです。その中にバッタが沢山いまして、バッタにまみれたということもありました。

岸本　貴重な体験で、おもしろいお話をお聞かせいただきありがとうございます。

中桐　こういう話を続けていると時間がなくなりますので、まじめな研究の話に戻らせていただこうと思います。

□　確率有限要素法の事始め

岸本　そうですね。少し研究の話に戻らせていただきますが。1980 年代にオーストラリアからお戻りになられて、有限要素法の研究を本格的に、ちょっと切り口を変えてお始めになられましたが、そのあたりのお話をお聞かせ下さい。

中桐　1970 年代は有限要素法の勉強をしました。当時の有限要素法の研究というのは２つの方向があって、一方は解の精度を上げるということ、それから他方は、I/0、インプット/アウトプットを容易にするということでした。また、連立一次方程式をいかに速く、効率的に、正しく解くかという計算機に向いた話と、有限要素法自体の精度の向上との２つがあったかと思います。その後、私は有限要素法そのものの研究はあまりしておりませんが、板の曲げは、やはり変位関数がおかしいですね、専門用語ではインコンパチブルといって、要するに変位はそこそこ合っているが、その変位から算出された応力は全然違いますという話があります。

岸本　不連続になっていると。

中桐　不連続になって、矛盾があるわけです。それをどういうふうに小さくするか。これはまたいろいろな研究があって、それはそれで素晴らしいと思っていました。ただ、オートバイで走っていてアドレナリンが増え過ぎたせいでしょうか、それをやっていて何になるのかという気がしました。それは有限要素法の持つ効用、効用って、英語で何て言うのですかね、利益ですかね、ベネフィットですかね。

岸本　ベネフィットでしょうかね。

中桐　そのベネフィット自体をもっと上げる必要があるのではないかと考えました。と言いますのは、いずれにせよ有限要素法というのは近似解です。ですから近似解の精度を上げるというのはいいが、どうせ近似解なら有限要素法の持つ効用を上げることはできないかということを考えていました。その頃、構造力学のほうでも確率論的構造力学というのが出てきました。

岸本　そうですね。

中桐　要するに、物事にはばらつきがある。原因にばらつきがあるから結果もばらつきがある

ということになっていて、それで確率論的な構造力学というのはそちらのほうで発達していました。確率論もまた厳密な理論解とかいろいろありました。そうすると確率論の話と有限要素法の話とがあって、有限要素法は確定論で凝り固まってたわけですよ、精度でね。一方、世の中のほうは確率論的な話になって、構造信頼性という言葉が出てきた時代でした。東大生研の柴田碧先生が、「有限要素法で答えを出しているが、あれは言ってみれば平均値である。ところが構造信頼性のほうでは、応答のばらつき、発生する応力だとか、変形のばらつき、これを出してもらわないと話にならない」と言われていました。「何とかしてよ」と慫慂されたのですね。ちょうどそのときに研究室に来られた、今、心臓の有限要素解析で名をなしている久田俊明先生と一緒に、「そうか、確率有限要素法というのもあるのですかね」ということになりました。有限要素法の精度はもういいとして、どうやってばらつきを出せるかということを考えたわけです。これも速い計算機を使えば、モンテカルロシミュレーションといって確率変数をいろいろばらつかせて、それごとの答えをたくさん出して、そのばらついた応答の中から平均値とか分散を求められるはずです。１回の応答解析をやるのにお金がものすごくかかります。下手すれば１週間かかってしまいます。クレイ計算機でも１週間かかるなんて話のときに、「とてもそんなことはできない、それではどうすればいいのか」ということになりました。これは久田先生のアイデアだったのですが、確率変数についての解の応答、構造の応答、したがって外力も含めて構造系の応答のテイラー級数展開を行えば、感度が出るのではないかということになりました。だから、まず有限要素法で剛性行列の感度を出し、そうすると構造応答の感度が出ますが、それは確率変数についての感度です。そうすると今度は、確率変数のばらつき、分散行列、これを入力すると分散が出るということになりました。「ああ、素晴らしいですね」と言ってお互いに自画自賛していました。特に素晴らしいのは、大型の連立一次方程式の求解が１回で済んでしまうことです。

岸本　そうですね。素晴らしいですね。

中桐　あれがすごいところですね。後は、要するに感度解析のほうだけは、１回解いた連立一次方程式の求解の結果を使ってやるものですから、演算時間がかからないということがありました。それで、私はもう剛性行列の感度を出すということを、一生懸命やりました。

岸本　そうですね。方程式を先に展開されてから計算に持ち込むという素晴らしい考えを展開されたなと思います。

中桐　そうそう。だから、あのときは、血中のアドレナリンがたくさんあったからですかね、楽しいというか、精神が高揚していました。2011 年 3 月 11 日以降は、ちょっとその効果がないのですが、原子炉建屋の応答解析、これができないと中に入っている機器の応答解析ができない。地震波は不規則振動である。したがって、応答のパワースペク

トラムでものをいう。だから、このパワースペクトラムを使うというのは、実はばらつきを考えているからそれを使うわけです。ところが、いろいろ応答のパワースペクトラムでは、ばらつきがあるわけです。例えば、地震動がばらついたらどうなるのか、それがあるわけです。したがって、パワースペクトラムのばらつきとは何ぞや。だって、パワースペクトラム自体、そもそもばらつきをあらわしているものですから、そのばらつきを表しているもののばらつきとは、何ぞやって。これはまあ、しばらく悩みましたね。悪く言えば哲学的。

岸本　そうですね、哲学的と言えるかもしれません。

中桐　そういうことをやっていいのかと。だけどやはりそれはあるだろうということです。岸本先生もパワースペクトラムを扱えばおわかりになると思いますけれど、あのパワースペクトラムを計算する式って大変ですよね。

岸本　はい、大変です。

中桐　あれの感度解析をやるわけですからね、もうせっせせっせと。

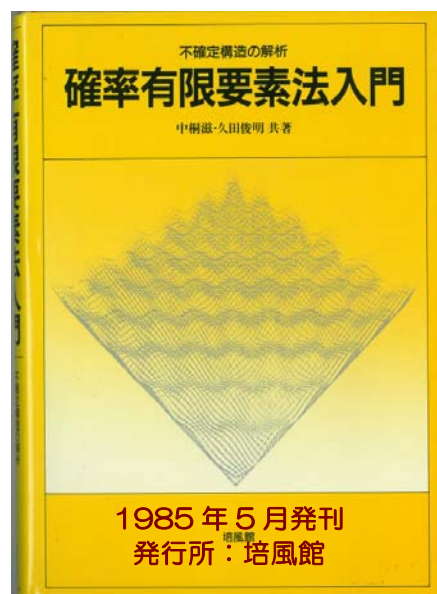
岸本　たくさんの式を書き連ねなくては。

中桐　これはもう何かシーンとした研究室で、こつこつとやるしかありません。そうなりますと、どうやってチェックするのかが一番怖いわけです。

岸本　計算間違いが。

中桐　計算間違いがね。それがあって、式を書きましたら膨大な量になりました。そうしましたら、また学生に素晴らしい人がいまして、あれだけは私も自分でプログラムしなかったのですが、彼がプログラムをつくりました。計算が出てくるのですが、ばらつきのばらつきの計算ですから、何がどうなったら正しいと言えるのかというのが困るわけです。そういうときに、解析解に立ち返って、どういう計算をベンチマークテストとしてやればばらつきをあらわす応答スペクトラムのばらつきが出せるかということを、久田先生がきちんと出してくれました。ですから、その頃の成果を「確率有限要素法入門―不確定構造の解析」という本にまとめました。あれはたしか1985年の発刊だったと思います。この本の後半にはそういうことがたくさん書いてあり、時々それを読み返してみますと、あの長い長い計算を、1枚2枚と頁をめくるともう終わっている。そんなはずない。あれはあんなに沢山計算用紙があったって。

岸本　それだけたくさん計算して、やっと数行の式が出てくるという。

中桐　やっと出ているわけです。だからいつもほろ苦く

楽しく見直すことがあるのですが、それをやっていました。

岸本　確率有限要素法という名前自体も素晴らしいという印象を受けました。有限要素法によってばらつきを出すという、もう少し単純な名前をつけられるのかと思いましたら、確率有限要素法という名前でした。すごくいい響きのネーミングで、私たちはあこがれて本を競って読んだ記憶があります。

中桐　そうですか。そう言っていただけるとありがたいです。この分野で世界的に有名な方に、コロンビア大学の篠塚正宣教授がおられます。また、スウェーデンのチャルマース工科大学にカマル・ハンダ先生という方がおられます。あれは ICOSSAR（International Conference on Structural Safety and Reliability）の第何回かの会議、インスブルックだったと思いますが、そのときに初めてハンダ先生にお会いしたのですが、人間、どこでどうなるかわからないと思いました。オートバイでコーナリングを間違えるのと同じでして。我々のプロシーディングの発表の次がハンダ先生でした。それから、我々はパーターベーション、感度解析でテイラー級数展開の二次まで取りましたが、ハンダ先生は一次まででした。アイデアは全く同じものでした。だから、私は次に在外研究に行ったときには、ハンダ先生のところに行きまして、旧交を温めてきました。プロバビリスティック、確率というのに２つ術語があって、プロバビリスティックというのが普通は使われますが、もう一つにストキャスティックという言葉があります。確率過程というときは、プロバビリックプロセスとは言わないで、むしろストキャスティックプロセスと言いますね。

岸本　はい。

中桐　私は英語がわからなかったものでから、コロンビア大学の篠塚先生に、意味がどう違いますかと聞いたら、ストキャスティックのほうが幅が広いとおっしゃっていました。日本語ですと、ストキャスティックもプロバビリスティックも差がないものですから、確率有限要素法ということで名前をつけて、あまり深くも考えずに使っていました。

岸本　そういうことで名前をつけられた。

中桐　あれ、考えてみると、用語、おかしいですよね。

岸本　そうですか。

中桐　だって、有限要素法変位法っていうのは、有限要素法の中の変位法の話っていうことでしょ。

岸本　はい。

中桐　だから、確率有限要素法っていうのは……。

岸本　そうですね、そう言えば確率がどこにかかるのか。

中桐　どこにかかるのかってね。そういう意味では、何かその後も少しだけいつも忸怩たる思いがあります。ただし、長々と言うとわからなくなる一面がありますので、名称についていささかあいまい、疑わしいところはありますが、確率有限要素法で通させてい

ただいておりました。ですから 1980 年代の前半は、束の間ではありましたが、独走気分が味わえて、オートバイ的な楽しい時代でありました。そのときに、1978 年ぐらいから始めて 1985 年ぐらいまでやっていた間に、確率というのと確定的な世界というこの２つの問題にぶつかりました。私は先ほど言いましたように、実験から始まっているものですから、実験では必ずストレン・ゲージは生きているか死んでいるかであって、生きているときもあれば、死んでいるときもあるということではありません。

岸本　どっちか。

中桐　確定的な世界です。一方、確率有限要素法では確率世界を取扱っていたわけです。そうしますと、何か行きがかりがありましたから、確定的な世界の一隅に確率世界があるのだろうと思っていました。ところが、確率論的な構造解析をやっていますと、いや、それは確率的な世界の中で、たまたまばらつきがないという変な一部分が、確定的な世界だと思うようになりました。その例の一つは、例えば真ん中に円のあいている正方形板がありますと。これが一方向に力を受けると、応力集中率は３倍になりますと、こうなりますね。

岸本　そうですね。

中桐　これは確定的な世界ですね。それを有限要素法で計算するときに、荷重及び形状の対称性から、解析対象の領域が４分の１で済みます。

岸本　はい。普通はそうしますね。

中桐　しますね。それでは、応力集中率３というのが、例えば穴をあけるときのリーマーか何かでもって、穴が真円でなかったらどうするか。穴の形状がふにゃふにゃばらついていたらどうしますかということになります。応力集中率がどれくらいばらつくか、これを解析しましょうというわけです。そうすると、形状の対称性はまずありません。ばらつきの世界ですからね。

岸本　はい。

中桐　第一象限と第三象限でばらつきが対称という保証はないわけです。そうすると、全領域を解析対象としなければならない。

岸本　全部やらなければ、はい。

研究室スタッフと房総半島旅行（1984 年 12 月）
右から２人目が中桐氏

中桐　そういう意味において、確定世界というのは確率世界の一部分だと。

岸本　一部分だと、はい。

中桐　それで世界観が少し変わりました。独走気分を味わってニコニコしていたのですが、はたと気がついたのは、分散とかそれの平方根である標準偏差というのは確定量です。

岸本　そうですね。

中桐　ところが、ばらついている応答の幅を示すものではなくて、幅の目安なのです。

岸本　目安ですね、そうですね。

中桐　ですから、よく想定外だとか想定内だとかと言っていますが、あれも何だか分散とばらつきの幅とを間違えていると思います。そうしますと、確かに確率有限要素法で原因のばらつきに対する応答結果、応答のばらつきを計算するのもいいけれども、人が求めているのは応答の標準偏差ではなくて幅ではないかと思いました。といいますのは、原因を考えてみればヤング率が負になる確率というのは、10 のマイナス 5 乗とか、6 乗ぐらいなのかもしれませんが、普通はないですね。ということは、これはもう割り切り方の問題で、「原因はここからここまでの幅に入っている。そうするとそれに応じて結果のほうはこの幅に入っている」という区間解析の概念になります。区間解析というのは、実は大規模計算のときに区間解析が必要だという説があります。といいますのは、何回も何回も計算を繰り返しますが、そうすると１回ごとの計算に６分の１だとか３分の１だとか割り切れない数がありますが、あれを足していくわけです。そうすると、正しいのか間違っているのかということになります。それで、区間解析というのは、まず数学のほうで始まったようですが、これは結局のところが小数点以下のごみの取り扱いの話です。それで、区間計算法というのがあります。幅を持つ量の足し算、引き算、掛け算、割り算の結果は、どの幅に入っているのかということがあります。ただ、数学のほうでやっている区間解析を有限要素法にあてはめようとしてもちょっと無理ですね。

岸本　そうですね、難しいですね。

□　区間有限要素法に転進

中桐　それで、区間有限要素法、これも名前がおかしいのですが、そういうものを編み出せないかと考えました。これは、ばらつきが確率分布ではだーっと空間中に広がってしまいますが、例えば２変数の場合であればこの四角領域の中に入っていますよとかね。

岸本　そういう先見情報をもとに、解析をしていく。

中桐　変数がおそらく四角の中に納まっているといえば､応答は菱形の中に納まっているだろうと。また、変数が円の中に入っていると、応答は楕円の中に入っているだろう。その楕円内の上限、下限を見ればいいということです。これは要するに話は簡単で、Lagrange multiplier を使うわけです。

岸本　未定定数法ですね。

中桐　未定定数法を使うわけですよ。そうすると上限と下限が出せる。ただし、応答が対象区間内で変曲点がない。要するに、単調増加の場合…。

岸本　そうですね。端っこに答えがありますね。

中桐　はい。これから上限と下限はその端っこにあるという定理を使うわけです。それでは、端っこの値は幾らですかとなります。これは、Lagrange multiplier を使うことで、区間有限要素法というのを、なるほどこれでできると思いました。そうすると、その頃日本では最適設計というのがはやりになってきました。これは有限要素法を使って、ただ単に解析だけではなくて、最適設計に使おうという機運がやっと出てきたからだと思います。

岸本　そうですね。

中桐　上限とか下限というのは、最適値、最善値とか最悪値に対応するわけですから、区間有限要素法というのは、これは有限要素法による最適化と同じだと思いました。どこかで寸法を決めるわけじゃありませんから、最適設計というのにはなっておりません。私も二、三、最適化について研究しました。それで、最適化に関する方法についていろいろな論文を書いていたのですが、そのうちにはたと気がつきました。最適化とか、最適とは何だろうと。

岸本　あ、なるほど。

中桐　何で最適なんて言うのですかというわけです。それは、人間がする仕事の上では制約条件があるからです。制約条件がなければ、最適化も最適値もないでしょう。だって軽いものをつくれといったら、ものつくるだけでは、際限なく軽くできます。

岸本　そうですね、際限なく、そうですね。

中桐　だけど、壊れない範囲で最小重量なんていうから、どこかで最小寸法が決まるわけです。ですから、実際の最適設計、私も最適化、オプティマイゼーションに関する人様の研究なんかをいろいろと勉強しましたが、最適化の手法には皆さん、興味を持っていますね。

岸本　興味が。

中桐　だから内接超球法がいいとか、フィボナッチ数列がいいとか、いろいろありますが、だけど、これは最適化の手法の話です。制約条件の話をしていない。ここで、自動車技術会の中に話が戻りますが、自動車技術会の中には構造強度部門委員会があります。その中で最適化を取り上げようということになりました。

岸本　先生も委員長をされておられましたが。

中桐　あのときは、たしか北海道工業大学の吉田紀昭先生がちょうどスタンフォード大学から戻ってこられたときでした。アメリカでは、NASA（アメリカ航空宇宙局）の実際の最適設計にかかわられたようです。吉田先生に構造強度部門委員会の御指導をしていただいたわけですが、吉田先生のご指摘は、制約条件なんかでも線形化の近似をしている。線形化したところで最適化を行う。ところが現実は線形ではないものだから、最適化と思ったのは実は解の外にあったということ。それでもう一遍慌てて、そこのところでまた別の線形化をやっていると、行ったり来たりしてしまう。

岸本　何回も線形化をしながら。

中桐　それで、ここが難しい。ついに、あれは何かのロケットの補強材だったと思いますが、「最適解が遂に見つからなかった」とおっしゃっていました。それで私もいろいろと考えて見ますと、制約条件如何によっては初めから解がないという問題があります。どう探してもない。それは例えば、これをちょっと速記で写すのは難しいのですが、２変数の問題で、不等式制約条件が３本あるとします。１、２、３とあります。不等号の向きが適切であると、１つの３角形が形成されて、この中に解があるわけですね。ところが、不等号の向きが逆になりますと、全然別のところに３つの解領域が形成されますが３つを共通に満たす領域はありません。簡単な問題ですら、制約条件の不等号の向きで、解があったりなかったりする。これを事前に判定できれば……。

岸本　最初から存在するかしないかがね。

中桐　判定できると思って、それをいろいろ考えたのですが、駄目でした。私の力不足でした。ですから、企業で実際の最適設計をされている方は、最適化の手法よりは制約条件の重要性のほうが大きいのではないかと思います。

岸本　認識してもらいたいということですね。

中桐　やっていただければと思います。それから、最適問題の解の存在条件を事前に、事後だったらいいですよ、明らかにできなかったのは、残念に思っていることです。

岸本　課題がまだ残っているということですね。

中桐　課題は、まだまだ残っています。

□　新たなる研究

岸本　はい、ありがとうございます。それでは 1990 年代の話に入らせていただきます。1990 年代に入ると、先生の研究の方向も少し変わってきたように思いますが、その辺りの話をお聞かせ下さい。

中桐　1990 年代は、それまでの有限要素法とは何かという自分自身への問い掛けからはじまりました。私は、何ですかって、何でも聞いてしまいます。

岸本　根本に立ち返って、疑問を提示されて、研究を進められるというお話だと思いますが。

中桐　それはある学生が、確率有限要素法をしていたのですが、マスター2 年の頃に修士論文を書き始めるようになると、机の前に紙を貼り出しまして「わからなくなったら初めに戻って考えよう」と書いてありました。教えられること大でした。そういう意味では、有限要素法とは何かと考えますと、これは設計図とか加工によって形が決まっている物体に外力が加わるとどれくらい変形して、応力とかひずみが出ますかという問題です。そうすると、設計図とか加工というのが大前提になるわけです。これを解析するには、ひずみエネルギーというものを使っています。ひずみエネルギーと外力のなした仕事の差、それはポテンシャルエネルギーでありますが、このポテンシャルエネルギーが最小になるように変形が決まってくるという原理です。使っているのはひずみエネルギーだけです。ところが世の中には、エネルギーは、他にもいっぱいあります。ある人は祈りのエネルギーだとか、ある人は呪いのエネルギーとかいろいろありますが、こういう心理学的なのは別にしましても、エネルギーというのはほかにも多数あります。そうすると、そういうもので決まる話はないものかと考えていたときに、ある自動車会社の方から、ブレーキ・ホースの納まりの形というものを指摘されました。オイルタンクは車体側にあり、ブレーキシューは車輪側についています。ブレーキ・ホースというのは大体ゴムでできています。そうすると、設計はホースの自由長を幾らにするかということと、自由長が決まっていて車体側の取りつけ位置と車輪側の取りつけ位置が決まったときに、どういうところにホースが垂れるのかが問題になります。あまり長過ぎると地面を引きづって走ることになります。それと、今度は走っているときにはいろいろな振動で車体と車輪の相対位置が変ります。そのときにブレーキ・ホースがほかのものとぶつからないことも重要になります。ブレーキ・ホースの納まりの形というのを出すのは大変だと言われました。私はそういうのは「木型でモックアップを作ってやればいいのではないか」と言いましたが、「いや、今はそんなことやっている暇がない」と言われ、「有限要素法の解析プログラムを使って

研究室スタッフ（1990 年４月）

納まりの形を求めている」とも言われました。それで、「ちょっと待ってください、有限要素法というのはひずみエネルギーが中心で、納まりの形は無理ではないか」と言いました。話を簡単にして、一鉛直平面の中にあるブレーキ・ホースの納まりの形は何で決まるのか。これをうつらうつらと考えていますと、ブレーキ・ホースだからひずみエネルギーがありますが、もう一つ重力エネルギーがあります。納まるといっても、上のほうに行くなんてだれも思わない。必ず下に下っているわけです。だから重力エネルギーを全然考えない普通の有限要素法を使って解析するのは、それはちょっと無理です。

岸本　答えは、出ないのではないかと。

中桐　それで、ゴムホースのほうは、剛体リンクが関節のところでバネでつながっているというように、バネ－リンク系でモデル化します。そうするとひずみエネルギーはバネのリンクで受けるということになります。ゴムホースの曲げ剛性がわかれば、材料力学の式を使って等価のバネ剛性を出せます。それから、あとは重力のエネルギーですが、それで私の出した仮説というのは、ひずみエネルギーと重力エネルギーの和が最小となるようにゴムホースの納まりの形は決まっているというものでした。これぐらいの計算は、有限要素法ではありませんから、たったったったっとプログラムを書けばすぐできるわけです。それで、企業が実測値を持っていましたので、それと合わせたら、かなりよく合いました。これはしめたというので、イギリスの雑誌に論文を出しましたし、日本でも発表しました。それまでは確率有限要素法といっても、解析例が BWR（沸騰水型軽水炉）マークⅠ（GE 製原子炉）型の建屋などで、あまり自動車と関係ないことばかりやっていましたので、特許は関係ありませんでした。しかし、ブレーキ・ホースは自動車ですので、特許の話が出てきました。当時、特許法が変わったのだと思います。それまでは、特許は発明に対して与えられるのであって、発見に対しては与えられませんでした。だから、数学上の定理の証明とか新しい定理を見つけても特許は与えられなかった。ところが、アメリカのベル研究所のカーマーカーさんが、内接超球法か何かのプログラムを特許で申請しました。これは、東工大の今野浩先生のお書きになった「カーマーカー特許とソフトウェア－数学は特許になるか」（中公新書）に詳しく書いてあります。ですから、それまでは有限要素法で特許を取れるとは思っていませんでしたが、発明ではなくて、発見でもとれることになり、そうすると定式って発見になりますので。

岸本　定式化でという意味ですね。

中桐　仮説を提唱しただけですが、これは特許になるのかなと思いました。一方、当時 1990 年代の初めですが、国立大学はまだ法人化されていませんでした。

岸本　そうですね、法人法の制定が 2003 年ですから。

中桐　私が、こういう計算をおもしろがって出して、そういうところに企業の皆様方が、「こういう話がありますよ」とか、「あなたは平面内ですが、うちでは空間内でやっていま

す」と言われる会社もありました。私は自分の出した定式は、近似計算の反復ですので、収束が早いのが売りだと思っていました。そうしましたら、企業の方は、「いや、必ず収束するので収束は遅くてもいい、必ず収束してくれれば設計として成り立つ」と言われました。私は自分で手がけたのは二次元の一平面の中にあるものでしたが、企業はもう、すぐに三次元にされている。そういう方のお話を聞いても、特許にするかということをかなり気にされていました。

平成９年度ガス保安功労者通商産業大臣表彰を授与される（1998 年２月）

岸本　そうですか。

中桐　私は、自分がこういうことができる幸せを、国家公務員として味わっているので、国家公務員というのは私利私欲を追求してはいけないと考えていました。したがって、公表すれば私は特許を取れませんが、ほかの人も特許は取れない。「みんなが使えることが国立大学教官の使命であると思っている」とか、まあ格好のいいことを言いました。たしか、それは自動車技術会の構造強度部門委員会での懇親会のときだったかと思います。一方、数年前に、クロス・カップリングでノーベル賞をお取りになられた鈴木章北大名誉教授の「国立大学教官は国費で得られた成果を公表し、皆が使えるようにするのが使命である。したがって、特許は取らなかった」との発言が新聞で報道されていました。

岸本　そうでしたね。

中桐　鈴木先生は、「特許を取らなかったから皆がやってくれて、それで広がったのだ」と言われていました。私も、ああ、同じ考え方の人がいるなと思って安心しました。これが私と特許との唯一のニアミスでした。だけど、納まりの形を始めますと、どんどん広がりますね。例えばお肉屋さんに行って牛のレバーなんか見ると、あのレバーの形というのは決まった形があるのかないのか、あると言えばあるが、決まってはいない、つるし方を変えると全く変わってしまう。人間の心臓の形というのはどうなっているのか、胃下垂の人の胃の形って何で決まっているか、いろいろあるわけです。そうい

うふうに考えているときに、ゴムホースの場合はひずみエネルギーと重力エネルギーでしたが、そうするとひずみエネルギーを全部取払ったものを考えようと思ったときに出てきたのが、泡と滴です。泡の形は何で決まるのか。滴の形は何で決まるのか。滴の形というのは昔から日本語では涙滴形と決まっている。涙の滴形と言って、みんなこういうのをシャンデリアの垂れ飾りだと決めているわけです。だけど、私が言うのは、何 cc の液体がどういう接触角を持つ板の上に、盛り上がったときはどうなって、垂れ下がったときはどうなるかということです。その表面の座標点を決めるということです。あぶくも決まっているわけです。

岸本　そうですね、形は決まっていますね。

中桐　風船は丸いのですが、三角形の穴から出てきたのはどうなるのだろうか。これをどうやって導き出せばいいのかということを考えていたときに、表面自由エネルギー、平たく言えば表面張力の問題に目が向きました。泡の形は、表面張力最小の形です。滴の場合は、体積を持っています。表面張力だけでしたら答えは簡単で、形は決まっていて全て球になります。滴の場合に、重力だけだったらどうなるかというと、ずら一っと板上を無限に広がるだけです。ところが実際は、表面張力もあり重力エネルギーもあるから、ああいう形になるのであり、それで表面自由エネルギーと重力エネルギーの和が最小で決まるという仮説を出しました。これは、考えてみたら有限要素法は変形体の力学であり、鉄板の力学である。それに対して軟体力学というのがあるのではないかと、言って回っていました。あの頃はもう何でも、形が変わるというので見ていました。そうしますと、当時、ナノテクノロジーの前のマイクロテクノロジーで、微小の半導体、LSI(Large Scale Integration)の研究が盛んでしたが、これがまた壊れます。先生も小さな半導体の破壊力学を研究されておりませんでしたか？

岸本　はい、しております。

中桐　私はあれを見ていて、おかしいなと思いました。というのは、ひずみエネルギーだけの有限要素法でやっていますね。球で考えればすぐわかるわけですが、球の表面積というのは $4\pi d^2$ です。それから球の体積というのは $3\pi d^3/4$ ですね。ですから表面積と体積の比は、こういう比をとっていいのかという説もありますが、$1/d$ に比例するわけです。ということは、直径 d が小さくなれば表面積が相対的に大きくなる。だから、表面の性質が大きく響くわけです。こぶし大の石炭にすぐ火はつかないけれども、炭坑の中の粉塵はすぐに爆発するというのは、あれは表面活性が高いからです。同じことが半導体の表面にもあると思いますが。

岸本　あると思います。

中桐　それで表面自由エネルギーがあるとどうなるかというと、生産技術研究所の中できれいでシャープなエッジをエッチングでつくる人がいるのですが、しばらくするとエッジがだれてしまうと言っていました。それは表面エネルギーがあるので、当然表面エネ

ルギーがかかってだれてしまいます。ですから、表面自由エネルギーは半導体の極微のもので重要であり、今までの有限要素法を漫然と利用していただけでは駄目ではないかなと思っていました。それで、表面自由エネルギーとはなんぞやと考え始めました。先生もご承知のエシェルビィの応力拡大係数の前の昔の話です。あれをいくら読んでも表面自由エネルギーが何で決まるのかって書いていません。

岸本　そうですね、書いていません。グリフィスの理論ですね。

中桐　あればこれだって言っていたけれど、わからない。それで、これもいろいろ考えたのですが、時間切れとなりました。軟体力学というのは、自分としてはちょっと趣味的に過ぎるとは思いましたが、やっているときは楽しかった、おもしろかったですね。最後の半導体のところだけはちょっとうまくいきませんでした。軟体力学というのは私としてはおもしろかったのですが、あまり皆さんの興味を引くことがなく、孤独感を味わいました。

岸本　これからは細胞の力学、ますます盛んになると思います。

中桐　いろいろあると思います。ひずみエネルギーのみならず重力エネルギーであるとか、あとは化学ポテンシャルだっていろいろありましょう。そういうのをやっていかないといけないと思います。現在、豊田中央研究所でお仕事をされている元ミシガン大学の菊池昇先生は、マルチスケール、マルチフィジックスとおっしゃっているので、そのうち軟体力学をやっていただけるかなと思っています。

岸本　これからが楽しみかもしれませんね。

中桐　そうですね。この頃のことは、「離散化モデルと構造シンセシス」という本にまとめました。これはたしか 1992 年に発刊されました。私としては、今日は、教育と産業、工業と技術、工学と技術ということでお話をさせていただきたいと思っているのですが、つい自慢話が止まらなくて申し訳ございません。

岸本　いえ、とんでもございません。先生の業績や功績を記録に保存するということが、今回のインタビューの趣旨ですので、引き続きお話をお聞かせいただければと思います。

中桐　それでは、1990 年代の終わり頃の話をさせていただきます。構造を、最適設計とまでとは言わなくても、「今この応答がちょっと高過ぎるから、あと幾らか小さくしましょう」とか、要するに目的とするシフト量を実現する設計ってあるわけです。ですから、

応答をシフトさせて目標応答を実現するのに必要な設計変数のシフトを求める、すなわち応答のシフトと設計変数のシフト間の関係を定めるシフトシンセシスという概念もあると思いました。そこで、今までの構造のアナリシス、解析、を離れて、例えばホモロガス変形（変形前後で一定の幾何学的性状が保たれる変形）、これは大型天体望遠鏡の設計に使われている考え方ですが、ホモロガス変形とかシフト量を求める設計変数もシンセシスで定めようとなりますと、結局、設計変数の数を何個にするか、シフトさせる応答の数と設計変数の数がいつも一致していない。

岸本　数がそろっていないわけですね。

中桐　ですから、どういうことになるかというと、設計変数を決定する方程式、これは線形化して連立一次方程式になっているのですが、係数行列が非正方です。それで、はたと気がついたのが、今までの通俗の——あえて通俗という言葉を使いますけれど——通俗の有限要素法は正方行列に凝り固まっている。正方行列でしかも非特異の行列に凝り固まっている。それで必ず解が存在し、しかも存在したら唯一である。だから、コンピュータさえ回していれば何か答えが出てくる。本当の答えかどうかは分からないが本当の答えに近いだろうと思って、皆さんが使っているわけです。ところが、非正方連立一次方程式ですと、まず解の存在条件があります。それを満たしていないと駄目ですし、それから解が存在しても唯一ではない。だから、何個あるのか、それも調べなければならない。それじゃ、解がない場合は何ですかというと、これは近似解だったりします。近似解もまたいろいろありまして、最小２乗近似解とかノルム最小近似解とかいろいろあるわけです。このシンセシスを始めて、また惑います。正方世界の中に長方世界があるのか、それとも長方世界の中に正方世界があるのか。それまでの解析のほうでいいますと、正方世界で済みました。年が 49 歳か 48 歳ぐらいで私は初めて非正方行列に出会いました。これまた勉強でした。大体、大学の 1、2 年で線形代数がよくわからなかったのに、49 歳になってからムーア・ペンローズ一般逆行列というので、これまた勉強でした。非正方行列の問題は一般逆行列を使いますと解けますが、やはり解の存在と唯一性、先ほど最適化のときにも申し上げましたが、解の存在条件ですね、

プラハの国際会議に参加、
フリバ先生のご自宅を家族で訪問（1999 年 6 月）
（左端が中桐氏）

そういうことをやはり注意しなければいけないなというのがわかりました。それで、非正方のものを使うと、そうだ、世の中は長方世界の中に、都合のいい正方世界があるのであって、やはり物事はよく見なくてはいけないなと悟りました。研究所での生活を終えて、2000 年から横浜国立大学に移りました。

□　研究の将来

岸本　どうもありがとうございます。先生の研究のお話を伺っていると、時間を忘れるようです。前半では、主に先生のご研究のお話をお伺いしましたが、後半は研究の将来のことだとか教育のことについてお伺いしたいと思います。まず、これからの研究のことについてのお考えをお聞かせ下さい。

中桐　結論を先に言いますと、自分は自覚が足りなかったと思っています。それはなぜかというと、研究の現在、過去、将来、その例をちょっと考えてみます。破壊力学というのは、原子炉圧力容器の健全性の保証にまず使われました。ですから、試験片が 1 本何万ドルもしたのだというような、とても大学でやるような研究ではありませんでした。それから、有限要素法は自動車とか航空機の構造解析に用いられていました。工学というものは、工学、即、技術だとは思いませんが、観念論とか哲学ではなくて技術の基礎となるものです。したがって、自分の工学的研究が現在の産業社会の中でどこに位置するのか、またどんな産業または工業を対象あるいは市場とするかの自覚が必要であると考えています。ですから先ほどの軟体力学はいささか趣味的に過ぎるというのは、およそ産業を考えていなかったからです。現役時代の私には自覚が不足していたと思っています。自覚不足を踏まえた上で現在のことを見ますと、現在はソフトウェアが全盛です。計算機利用の計算工学というのは解析の有用な道具とか手段として使われています。今、この道具を使うことにきゅうきゅうとしていると、なぜそれを使うのかということ、つまり目的意識が薄れてくると思います。一例が、金融工学というのはどうも短寿命に終わりそうな気がします。いや違うとお叱りを受けるかもしれませんが……。

岸本　専門の方はそうはおっしゃらないかもしれませんね。

中桐　それを言い出したら、昔から賭けの問題というのは、賭けの計算をパスカルがやっていました。ただ、最近気になるのは、デジタル化とソフトウェアが蔓延していることです。世の趨勢であって、多くの利便がありますが、一方でソフトウェアの品質管理の重要性が、最近強く認識されるようになりました。新聞に、原子力発電所の配管設計プログラムにエラーがあったという話もありましたし、それから数年前には、自動車がコーナーを曲がり切れないということで、プログラムがおかしいのではないかという説を立てられたことがありました。したがって、ソフトウェアの品質管理をどうするのかというのは、現在の重要な問題だと思っています。対処法としては、V & V（validation and verification）という言葉が今はやりになっています。これについ

て、現状をちょっと見てみますと、「一生懸命やります、何回も try and error をやっています」と言うばかりであって、精神論的な色彩が強く、確固とした方法論がないように思います。例えば、暗号なんかでも、暗号を解くのは昔は職人芸でやっていたわけですが、IBM マシンができてからは、数学に基づく方法論でやっているわけです。そういう意味では、ソフトウェア、その内でもアルゴリズムが間違っているということを発見するアルゴリズムはあるそうですね。それは文法上の間違いだからでしょうね。だけど、ある符号がプラスになるのかマイナスになるのかはモデル化の段階の話ですから、それはプログラムではわからない。そういう意味において、暗号理論を使うのがいいのか、ここでの思いつきだけですから、それはわかりませんが。やはり、きちんとした方法論を確立しておくということが、日本の自動車産業が今後まだ勢威を、世の中の主導権をとっていくことの源になるのではないかなと思います。これはちょっと計算工学の分野に居過ぎた私の思い過ごしなのかもしれませんが、そういうことが必要でないかなという気がします。これがいい例であるかどうかは分かりませんが、物事は気がつかないうちに大きな発展をしていることがあります。これは、旧聞ですが、1940 年頃の日本の最新鋭戦闘機零戦のエンジンは、栄というエンジンで 1,000 馬力級です。それから 1945 年、紫電改という戦闘機に積まれた 2,000 馬力級の誉というエンジンがあります。この栄と誉のエンジンのリッター当たりの馬力を計算してみますと、栄エンジンは 41 馬力/リッター、誉は 56 馬力/リッターになります。回転数はともに 3,000 rpm ぐらいです。回転数を上げれば馬力は出るといいますから、それだけで感心することはありませんが、今、我々が乗っているオートバイのリッター当たりの馬力というのは 100 馬力を優に超しています。それを理解して乗っている人は何人いるのか。

岸本　そうですね。言われてみないと気が付きませんね。

中桐　栄及び誉のエンジンは、それこそ日本の官民挙げてのプロジェクトで作り上げたのですが、オクタン価 92 のガソリンを入手できるかどうかというのが誉の一つの弱点だったそうです。それぐらい力を結集して作ったエンジンを、何で 1980 年代に、たった 40

年で抜くようなエンジンを作ることができたのか、これは、自動車業界が材料、油、加工、もういろいろな技術を積み重ねてきた結果だと思います。もちろん、新聞などには有限要素法解析で 1 次振動を上げたとかいう広告はありましたが、材料や加工精度の記事はあまり掲載されません。だけど、気が付かないうちにものすごく発達していたのだと思います。そこに、日本の自動車技術というか日本の工業の底力というものをみて、日本の技術者に対して常に敬意を持っています。ですから今、validation and verification も、おそらく各社が一生懸命やっていると思います。新聞には、ジョブスさんが iPad を出したことは載ります。Validation and verification の方法論が出たというようなことは載らないと思いますが、日本の自動車業界がやるのではないかなと思っています。それをやっていただけると、例えば原子力産業なんかでも、あそこもいろいろなものをデジタル化していますから、活用できると思います。原子力産業は、ちょうどこれから新しくデジタル化に向かおうと思っているときに 2011 年 3 月の大事故ですから今後はよくわかりません。やはり 100 兆円の売り上げを誇る自動車業界でないと、この方法論の確立は、なかなかうまくいかないだろうと思います。だから、そこは大いに期待しています。

□ 研究指導のあり方

岸本　そうですね。そのためには、そういったことを担う人材の育成が非常に大事になると思います。先生は、長らく研究室をお持ちになられて、学生を指導されてきましたが、研究指導のあり方について、先生のお考えをお聞かせ下さい。

中桐　先程の話になりますが、私の学生時代の研究成果は乏しかったと思っていますし、それから現役最後のころにはいささか趣味的な研究をしていましたので、自分の研究のスタイルが良かったのか、自分の教育が良かったのかいうことをいつも、今でも悩んでいます。ですから、それを差引いてお聞きいただきたいと思います。人はさまざまでありまして、学生諸君もいろいろな思惑で大学生活を送っているわけです。私が 1995 年以降に感じたのは、教えられ過ぎて好奇心が薄くなってしまい、今までおもしろいと思ったことがない、という学生もいたことでした。時々お感じになることがあると思いますが？

岸本　そうですね。そのような感じを持つことがあります。

中桐　皆がそうだとは言いませんが、そういう学生がいます。そうすると、おもしろいという経験がない学生に、「勉強しましょう、研究しましょう」と言っても、おもしろくないものだから勉強も研究もするわけがありません。こういう人たちにどうすればうまくいくのか。おもしろいといったん思ってくれれば、皆さん先に進んでいきます。それはもの凄くありがたいことです。同志社大学の超並列計算機をやっておられた三木光範先生が、あるときに、「先生はサクセスストーリーの具現者でなければならない」と言いました。はあ？、「サクセスストーリーって何のことか」と思ったら、「いい車に

乗って、いいスーツを着て学校に来なさい」ということでした。「しょんぼりしていては駄目だ」と言っています。「サクセスストーリーの具現者であれば、自分もサクセスストーリーに乗ろうと思って、学生諸君はついてくる」とも言われていました。要するに、おもしろがって研究をしなさいとおっしゃっておられました。故人となられた東大生研の半谷裕彦先生も「研究は楽しくなければ」と言って、いろいろなことをされていました。ですから、結局のところは、やっている自分もおもしろいし、それから学生諸君もおもしろいと感じてくれるような題目を見つけられるかということだと思います。自分がおもしろがるのを見つけるのは楽なのですが、学生諸君もおもしろがるようなのを何十年間にもわたっていつも見つけていくというのは、なかなか難しいです。せっかく自分がおもしろい、こうやればいいのではないかと思っても、学生が乗ってこなかったりしてうまく行きませんでした。いったんうまくいかない課題を、３年たってからもう一遍やろうという気になりませんしね。

岸本　そうですね。

中桐　うまくいかなかった研究もありましたが、研究室のあり方としては、学生がやはり来てよかったなと思って卒業してくださるかどうかだと思います。

岸本　その通りですね。そこで先ほどおっしゃっていました時代に合う研究、産業界に合う研究、研究者としてやるべきだということと、おもしろい研究をしていくということを両輪にしてやっていく難しさというのがあると思うのですが。

中桐　そうです、あります。

岸本　それは、やはりそれぞれの先生方が悩んで、自分の研究をやっていくということなのでしょうか。

中桐　そうだと思います。これについては、確立された方法論はないと思います。産業に目を向けるのか、おもしろさに目を向けるのか。これは論理的には一致しません。この論理の矛盾をどうやって越えるかというと、越え方は論理ではなくなります。人の動きだと思います。ですから、この矛盾は古くて新しくてずっと続く問題であるということを学校の先生も感じ続けるでしょうし、企業のリーダーの方々も感じると思います。

こう言っては言い過ぎですが、授業料を払ってもらった人たちに学内で接しているのと、給料を払わなくてはいけない人が社内でやるのとでは、やはり工業とか技術のほうが非常に問題というか、程度が先鋭化するだろうとは思いますし、その矛盾というのは全体主義的にやるのではなくて、個々にほぐして行くのだろうという気がします。

岸本　やはり矛盾は矛盾としたまま、進む。

中桐　ジレンマのまま残ると思いますね。

□　学生の教育

岸本　ありがとうございます。そういった中で、学生さんの教育について、先生はどんなお考えで、特に講義のほうでしょうか、お臨みになられたのでしょうか。

中桐　大学での主な担当科目は有限要素法でした。導入期の頃は、微分方程式で考えていた人たちに三角形で教えようというのですから、教えるのに苦労しました。最近は、学部でも修士でも、先程も話しましたが、ソフトウェアが全盛です。ですから、大学でもANSYS（アメリカのANSYS Inc.が開発した有限要素法CAEを中心とする解析ソフトウェア群）を導入しています。大学で導入するから企業も導入する、企業が導入しているから大学も導入しなければならない。何でANSYSがあんなにポピュラーになったのだと批判している人もいますが、それは世の流れだと思います。そうしますと、有限要素法の教育をどうすればいいのか、また悩んでしまいます。

岸本　原理を教えるのか、使い方を教えるのか、どういう形で学生に理解してもらうかですね。

中桐　現代の学生諸君はマニュアルを見たり、PC を動かしたりするのはもうお手のものですから、それを考えて、有限要素法プログラムを使える技術者ではなくて、作れる技術者を育てることに意を用いました。すなわち原理を教えても、マニュアルの読み方を教えることはしませんでした。したがって、この方針がよかったかどうかは今でも迷っています。ただ、ちょっと言いわけみたいに聞こえますが、卒業生からの反応があります。たくさんあるわけではありませんが。ある卒業生は、会社に入ってから、何かソフトウェアがおかしかったときに、そのチェックを任されたそうです。その卒業生は、「マニュアルの読み方だけを聞いていたら、チェックはできなかった」と言っていました。ところが、ソフトウェアというか有限要素法の根幹は何かということが、「そのチェックをさせられたときに初めて分かりました」と言ってくださったときには、「そうか、作れるのでもよかったのかな」と思いました。それからもう一人の方は、「会社に行ったら中桐先生みたいな上司がいますよ」と言われました。それで、何と言ったのだと聞きましたら、「ソフトウェアは一番最後に見ればいい、まずはものを梁で考えてみて、どうやって力が伝わって、どこで保っているのか、固定されるのか、それを考えろ」と言われたそうです。思わずその上司の年齢を聞きましたら、40 代だと言われて、「ああよかった、若い人もそう考えてくれたのだ」と思うと同時に、「僕なんかもう 60 歳過ぎだぜ」という感じでした。そういうこともありますので、使えるのが

いいのか、作れるのがいいのか、というのは根本的な問題ですね。使えるというのは一つの行き方が産業直結で、作れるというのはおもしろがるということですね。ですからこれは、先ほども言いましたが、永遠のジレンマだろうと思います。

岸本　もう一つ。作れるというのは、原理をよく知らないと作れないので、使うよりは本当に根本のところまで理解させるということが含まれているのかなというふうにお聞きしました。作らせてみるというのは、非常にいい方針だと思いました。

中桐　そういって教室に立ってぺらぺらしゃべって、90 分授業を 15 回やって試験をしてみると、私があれだけ一生懸命教えたのに、全然わかってくれていない学生もいるなと思うと泣きたくなるときもあります。一方では、そうか、皆がよくわかってしまったら、教える人もいらなくなるから、まあいいかと思うようにしています。学生諸君に対する接し方の一つで、横浜国立大学に移って驚いたことがありました。それは、学部の先生方が学生諸君のことを「あの子」と言って、子供扱いにしている。私が 40 歳代のときに、「学生と卒業生を子供扱いにするのは先生の職業病である」と卒業生から注意を受けたので、それ以来、もう決してあの子なぞとは言わないことにしました。学生諸君にはきちんと「さん」をつけています。ところが、あの子と呼んでいる先生がいたので、初めは面食らいました。だって、あの子呼ばわりされたら学生諸君は紳士とか淑女になり得ません。あの子のまま終わってしまいます。だから面食らったわけです。また、学生諸君には、技術者になれば、即、紳士になれるわけではないが、紳士になれば技術者ぐらいにはなれると言っていました。何だかわかったような、わからないような話ですが。

岸本　禅問答みたいな話ですね。

中桐　その通りです。これを言うと、学生諸君が反論してきて、「それじゃ紳士・淑女って何ですか」と質問してくる。そうすると、私は、「紳士とは何かというのは、それは自分で一生をかけて探すものですよ」と逃げるわけです。これは私の今の考えでもありまして、逃げ口

Paris EURODYNE 2005 ディナーに出席する中桐ご夫妻

上に近いのですが。なぜそれを言うかというと、今の日本の教育と訓練との違いの混乱があります。これは会社の中の話になりますから、そのときに述べますが、やはり全人格教育をするのか、それとも技術訓練をするのかということです。教育と訓練は別だろうと思います。ですから、「あの子と言うことはやめましょう、紳士・淑女になりましょう」というのは教育のほうの話です。訓練のほうの話ではありません。

岸本　紳士になれとおっしゃっている中で、やはり教養を積みなさいということかと思うのですが、昔、先生のお話をお聞きしたときに、あるところに興味を持ったら、本を１冊２冊読むのではなくて１トンくらい読まなければ駄目だよとおっしゃっていて、紳士になるのには随分と沢山の本を読まなくてはいけないのだと思った記憶があります。

中桐　そう、トン読（トンドク）をしなければいけません。

岸本　トン読ですか。

中桐　そうです、トン読です。トン読は、50 代頃までは言わなかったと思います。今の学生諸君と私の学生時代と比べますと、私の時代には競争相手は隣の机にいました。製図板の前にいるわけで、そこで済みました。ところが、今は山の向こうとか水平線とか地平線の彼方の国の人と競争して共生していかなければならない。昔のように、隣の椅子に座っている人と話していれば済むという世界ではなくなっています。これは何を意味するかというと、遠見の能力と先見の明が求められるわけです。ですから、現在のことを縷々と書いている取扱説明書ばかりではなく、文学書でも専門書でも、必ず古典から読みなさいと言っています。これは、教養主義に通じる話で、これはいつも学生諸君に勧めておりました。といいますのは、未来というのは常に不明です。特に現在の未来は不確定です。ところが過去の未来というのは、実は現在です。現在はわかっているわけです。ですから過去を知り、現在を知れば、孫子の兵法みたいなことを言えば、未来についてもいささかの見通しが得られると思っているので、学生諸君には、「まあつまらないだろうけれども、読みなさい」と言っています。

岸本　絶対、読めば読むだけのことはあると。

中桐　はい、読むだけのことはあります。

□　教育と訓練

岸本　教育のことですが、先ほどちょっとお話しされた教育と訓練という言葉が出てきましたが、教育と訓練は違うように思っているのですが。

中桐　これはいろいろな定義があって、教育学というのもあるぐらいですから、とても私が一言で言っても、それが主流でもなければ正しくもないと思います。私は、教育というのは満点の定義が不明確なものだと思います。何をすれば満点になるかがわからないもの。成果が出るのは 30 年先。だから、紳士とは何かと語っても、それは 30 年経てなる話ですから、紳士とは何かなんて、今はわかりません。一方、訓練というのは満点が明白であるものと思います。それから、成果はすぐ出る。このイメージが明確に

なっていないので、現在は教育界に混乱があると思います。そのイメージの一つとして、エリート教育という言葉と職業訓練という言葉があります。エリート訓練とは言いません。

岸本　確かに、言いませんね。

中桐　時々間違えて、職業教育とは言いますが。エリートって、昔の軍人の言葉で言えば将校です。だから、将校教育とは言っても将校訓練とは言わない。兵隊さんが鉄砲を撃ちますが、射撃訓練とは言いますが、射撃教育とは言いません。射撃は、どういう結果になれば満点なのか、満点の定義が、はっきりしています。そういうので、訓練と教育というのは両方要る。一方だけではない。だけど、イメージとしてははっきり持っている必要があると思います。学と術と論と法、この違いは何か。昔は成功術なんて本がありましたが、最近は失敗学という本までありまして、失敗するにも学が要るような難しい世の中になっているわけです。学には、公理とか証明された定理、仮説があります。私の定義では、そういうものになります。論というのは、公理はないけれども仮説はある。だから経済論とか経済原論と言います。一方では、機械製作法とか計測法とか測量術とか航海術とか、何か普遍的な公理があるわけではないが、一応そうやっておけばうまくいくというのがあるわけです。そうすると有限要素法はどっちなのだと、また悩んでしまいます。そういう意味では、ここから先がまた産業に戻ってくるのですが、学科目で機械製作法って、今なくなっていますね。

岸本　少なくなりましたね。

中桐　少なくなりましたね。ところが、自動車技術会の「人とくるまのテクノロジー展」に行きますと、計測器とか部品も素晴らしいものです。あれは、どうしてああなったのだろうか。先ほどの航空機エンジンのリッター当たり馬力とバイクのエンジンのリッター当たりの馬力が、あれほど素晴らしい変遷、進化を遂げているのと同じように、我々の知らない、少なくとも大学人はあまり気がつかない間に、変遷・進化を遂げたのだろうと思います。ですから、これに払われている企業の努力には感嘆いたしますし、その技術の育成と継承に尽くされている、企業の精進といいますか、ご努力に敬意を払っています。したがって、進歩的な「技術者の倫理」とか、バイオ情報システムとか、進歩的な先生方のあまりに進歩的な話が、どのくらい世の中の役に立つのかと案じています。この頃は、大学の名前、学科目なんか聞いても何が何だかわからないでしょう。あれで学生が来ると思っているのでしょうか。

岸本　私たちも反省しなくてはいけないですね。

中桐　世の中、常に物事の相克があります。そういう意味で教育と訓練について、やはり現状の認識というものを常に問うていかないといけないでしょう。こうなりましたからこれでいいでしょうというのはないと、私は思います。

岸本　今、先生は、学と論と法と術という形で明確に分けて、考え方を説明いただいたのです

が、教育と訓練の場合、こういうふうに考えればよろしいのですか。学とか論というのは、特に学のほうは定説があるので、教えるとなると比較的紋切り型に教えられるので、教えるほうもある程度安心して教えられる。それに対して、法だとか術だとかいったところは、実は訓練しようと思えばすごく簡単に訓練できてしまうのですが、それを教育でやろうとすると実はもっと奥が深くて難しいので、それをどちらかというと避けているような嫌いがあるのではないかということですか。

中桐　そうかもしれませんね。

岸本　何とか法といったときは定説がないので、これだけ教えたら済むというわけではないので、先生のほうの教える側も満点の教え方ができない。そこら辺のところが非常にこれからのことを考えると心配だというのか、問題点として先生にご指摘いただいたのかなと思いますが。

中桐　それでは一つの例を話します。これがいい例なのか、ちょっと自信に欠けますが。有限要素法を教えるときに、一応、連立一次方程式の解き方も要るわけです。そうすると、今のコンピュータオリエンテッドな解法のほかに、昔のクラーメルの方法がありますので、それを教えました。その後、「これは蛇足で、今はこれで計算する人はいません」と言いました。そうしたら、学生諸君が、「使っていないものをなぜ教えるのですか」と言ってきました。それに対して、「おっしゃるとおりですが、使わないから無用だということではない。一番正しい解き方はこれだということを知っておかないと、近似解をやっていてもしょうがないだろう、これは、きちんと決まっている話で、それを知るということは必要だと思っているから教えているのだ。お分かりかな」と言ったら、「うん」なんて睨まれました。だけど、私はそういうような一面があって、今のは数学の話ですが、ほかにもいろいろあるだろうと思います。それをやはり、これは訓練の対象としてやっているのか、教育の問題としてやっているのかということを、教える人がある程度自覚している必要があると思います。

岸本　それだけに、何とか法、何とか術を教えるのは非常に難しくて……。

中桐　難しいですね。

岸本　これからもっと考えなければいけない、それが私たちの宿題だと思えばよろしいのでしょうか。

中桐　そうですね、難しいです。私も、例えば機械製図通則とかを教えるときでも困ったわけです。だけどあれは必要です。

岸本　そうですね。何とか論だと、逆に言うと自分の説を唱えて……。

中桐　唱えればいいです。

岸本　いいのですが、法、術になると、それだけではまた済まされないし。

中桐　そうですね。

□　学術と産業

岸本　難しいお話を伺ったなと思います。大分時間もたってまいりましたが、これからの産業との考え方、学術と産業といいましょうか、学科と産業といいましょうか、そのあたりの先生のお考えをお教えいただければと思います。

中桐　今回のインタビューに仮に表題をつけるとすれば、「技術と工学のはざまで」と考えています。「はざまで生きてきた僕」もいいと思いますが、まじめには「技術と工学のはざまで」であります。学科目と産業、これについて昔から私も不思議に思っていることがあります。岸本先生もご存知だと思いますが、「VLSI（Very Large Scale Integration）の設計技術者が足りない、プログラマーが 20 万人不足する、だから学科拡充と定員を増やせ」と、弱電分野の方は 20 年に一遍ぐらいやっていませんか？

岸本　20 年に一遍かどうかは分かりませんが、やっているようです。

中桐　20 年に一遍ぐらい必ずやっています。弱電分野は圧倒的に拡充されていますので、この分野の要求は、文部科学省の段階までは成功しています。ところが、弱電産業となりますと、外国勢の追い上げがきついものですから赤字体質で、新鋭工場も売りに出されるという情勢にあると聞いています。そうすると、学科拡充、定員増というのはどういう意味があるのかと思ってしまいます。しかし、それだけやっても売りに出されたりするのですから、大変だなあといつも同情しています。２番目は、原子力安全委員会にいたころに聞いた話なのですが、「放射線と放射線医療の講座数がどんどん減少しています。医学部でも減少しています。この情勢の改善に協力をして欲しい」と、原子力安全委員会の会合で、要望された人もいます。ところが、これは世間の風が冷たくて、形勢芳しからずというところです。この弱電と放射線というのは、大学の中で要求する声はあっても、社会的には大きな声にはなりません。結果としては、盛んな産業にはなっていません。私が３番目に述べたいのは、あるときの自動車技術会の総会で、「エンジンを回している講座が国内で減少しているが、こういう事態について、自動車技術会の認識と対処を問います。」と慶応義塾大学の佐藤豪先生が発言されたことで、強く

原子力安全委員会での中桐氏

印象に残りました。確かに佐藤先生、神本武征先生、池上詢先生、それから東海大学でエンジンを回している研究室がありますが、どんどん減っています。ですから、先生方の危惧というのは、ごもっともだと思って強く印象に残りました。ところが、弱電と放射線医療というのは、どうも、文部科学省に頼みましょうとか、原子力安全委員会に頼みましょうとか、ちょっと他力本願の構えが見えるわけです。ところが、そういう構えで、ちょっと腰が引けているせいでしょうか、産業の段階では成果が乏しいと見受けられます。一方、後方支援の学科や教科目が少なくても自動車産業というのは、国家柱石の位置を保っているわけです。これは素晴らしいことです。似たものはあるのかと見てみますと、光学でした。我々が学生のころ、光学の本は３冊ぐらいしかありませんでした。しかし、日本の光学産業というのは、ステッパーに至るまで大変身を遂げています。今でも光学の講座というのは、大学の中であまりありません。そこで、私が謎に思い、またいつも驚嘆しているのは――ここが結論に当たるわけですが――やはり輸出産業であって、国際的な競争に打ち勝ってきたからだと思います。学校で教えなくても、産業は盛んになるという分野はあるのだということです。これで、先ほどの教育と訓練の区別。これとどういうふうに組み合わせるのだろうかと考えてしまいます。１つは、学校で教えなくても産業が盛んとなるというのは、どういうメカニズムでそうなっているのか。企業内の訓練、または企業内の教育が素晴らしいのか、それが効果を上げているのか。このメカニズムは、学問的には解明されていないわけです。だからこれが自動車産業の今後の成功術と言っていいのでしょう。成功論ではなくてね。この継続を、私は大いに期待しているわけでして、先生のように自動車技術会の理事の方には、よろしくお願いいたしますと申し上げます。この期待の言葉をもって、私の言いたいことは大体尽きました。

岸本　本日は、学問の話から将来の産業のことまで、含蓄の深いお話をいただきましてどうもありがとうございました。これで終了させていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

中桐　どうもありがとうございました。何かお聞き苦しい、お耳を汚したようなことも多々あるかと思いますけれど、ご海容いただければと思います。